

Pekko Savurinne

# KALANTERIN KUUMAÖLJYKATTILAN OPTIMOINTI

Opinnäytetyö  
Energiatekniikan koulutus

2019



**Kaakkois-Suomen  
ammattikorkeakoulu**

Tekijä/Tekijät	Tutkinto	Aika
Pekko Savurinne	Insinööri (AMK)	Toukokuu 2020
<b>Opinnäytetyön nimi</b>  Kalanterin kuumaöljykattilan optimointi		38 sivua 2 liitesivua
<b>Toimeksiantaja</b>  UPM Communication Papers Oyj		
<b>Ohjaaja</b>  Merja Mäkelä		
<b>Tiivistelmä</b>  <p>Opinnäytetyö tehtiin metsäteollisuuden alan yrityksen UPM Communication Papers Oyj:n toimeksiannosta. Energiatehokkuus ja ympäristöystävällisyys ovat nousevassa roolissa tämänhetkisessä maailmantilanteessa, joten fossiilisten polttoaineiden käyttöä teollisuudessa pyritään vähentämään. Jotta vanhojen järjestelmien energiatehokkuutta pystyttäisiin parantamaan, tulee niiden tämänhetkisestä energiankulutuksesta ja toiminnasta tehdä tarkasteluja. Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli kartoittaa ja pyrkiä kehittämään UPM Communication Papers Oyj:n Kymin paperitehtaan OptiLoad-kalanterin kuumaöljyjärjestelmän toimintaa, energia- ja kustannustehokkuutta sekä ohjausjärjestelmiä.</p> <p>Työssä perehdyttiin kalanterointiprosessiin ja kalanterin kuumaöljyjärjestelmän toimintaan energiatekniikan ja automaation osalta. Työn ensimmäisenä vaiheena oli ymmärtää termotelojen lämmitysjärjestelmän toimintaa, minkä jälkeen pystyttiin paikallistamaan kehityskohteita hyödyntäen järjestelmän elinaikana kerryttämää tietoa. Tarkasteluhetken kuumaöljykattila tuotti lämpöenergiaa maakaasupolttimella. Automaatiojärjestelminä käytössä olivat kalanterin Valmet DNA -järjestelmä sekä kuumaöljykattilan paikallinen releohjausjärjestelmä. Lisäksi työssä käsiteltiin myös vaihtoehtoa, jossa maakaasupolttoinen kuumaöljykattila pystyttäisiin korvaamaan höyryn ja kuumaöljyn lämmönvaihtimilla.</p> <p>Opinnäytetyön tuloksena saatiin dokumentti, johon on kerätty tietoa kuumaöljyjärjestelmän toiminnasta. Työtä tehdessä järjestelmän eri osa-alueilta nousi esiin useita kehityskohteita, jotka auttavat UPM Communication Papers Oyj:tä tekemään päätöksiä termotelojen lämmitysjärjestelmän tulevaisuuden osalta. Työssä esiin nousseita kehityskohteita ovat kuumaöljyjärjestelmän ensiöpiirin paikallinen releohjausjärjestelmä, ylimitoitettu kuumaöljykattila ja maakaasupoltin sekä maakaasupolttimen toiminta.</p>		
<b>Asiasanat</b>  paperiteollisuus, energiatehokkuus, automaatio, ohjausjärjestelmät		

Author (authors)	Degree	Time
Pekko Savurinne	Bachelor of Engineering	May 2020
<b>Thesis title</b>		38 pages 2 pages of appendices
Optimization of calender's thermal oil heater		
<b>Commissioned by</b>		
UPM Communication Papers Oyj		
<b>Supervisor</b>		
Merja Mäkelä		
<b>Abstract</b>		
<p>The subject of this bachelor thesis was assigned by pulp and paper company UPM Communication Papers Oyj. Energy efficiency and the reputation of being environmentally friendly are on a rising role in today's world. Therefore, an industrial field will try to reduce usage of fossil fuels in the future. To improve energy efficiency of old existing systems, we must make examinations about their energy consumption and operation. The objective of this bachelor thesis was to survey and try to develop OptiLoad-calender's thermal oil heating systems operation, energy efficiency, cost efficiency and control systems.</p> <p>In this thesis calendering process and operation of the calender's thermal oil heating system were studied from the energy technology's and automation's point of view. First stage of the thesis was to understand working principle of the thermo rollers heating system after which it was possible to locate targets for development from the system using data that the information processing systems has collected during the years of system operating. At the examination moment thermal oil heater produced thermal energy with natural gas burner. Control systems used were the calender's Valmet DNA and a local relay control system of the thermal oil heater. Thesis also includes an optional system that would replace thermal oil heater and natural gas burner with steam heated heat exchangers.</p> <p>A document was obtained as a result of the bachelor thesis that gathered information about the operation of the thermal oil heating system. When doing the thesis, several targets for development rose from different sectors of the system. This information will help commissioner to do decisions about the thermo roller's heating system's future. Targets for development that rose during the thesis are primary circuit's local control system, oversized thermal oil heater, oversized natural gas burner and operation of the natural gas burner.</p>		
<b>Keywords</b>		
paper industry, energy efficiency, automation, control systems		

# SISÄLLYS

1	JOHDANTO .....	5
2	KALANTEROINTIPROSESSI PAPERITEHTAALLA .....	6
2.1	UPM Kymin paperitehtaan kalanteri K1 .....	7
2.2	Kuumaöljyjärjestelmän toimintaperiaate .....	10
2.2.1	K1:n termotelojen lämmitys- ja jäähdytysjärjestelmä .....	10
2.2.2	Kuumaöljykattila.....	12
2.2.3	Maakaasupoltin.....	13
2.2.4	Kuumaöljyjärjestelmän piirit .....	15
2.3	Kuumaöljyjärjestelmän kunnossapito.....	15
2.4	Lain asettamat vaatimukset kuumaöljykattilalle .....	17
3	KUUMAÖLJYKATTILAN OHJAUSJÄRJESTELMÄ .....	19
3.1	Kuumaöljykattilan releohjausjärjestelmä .....	19
3.2	Valmet DNA -ohjausjärjestelmä K1-kalanterin kuumaöljyjärjestelmän osalta .....	21
3.3	Ohjausjärjestelmien elinkaarimalli.....	22
3.3.1	Ensiöpiirin releohjausjärjestelmän nykytila.....	23
3.3.2	Toisiopiirin Valmet DNA -järjestelmän nykytila.....	24
4	KUUMAÖLJYKATTILAN ENERGIAKULUTUS .....	26
4.1	Kuumaöljykattilan energiatehokkuus .....	28
5	KEHITYSKOhteet KALANTERIN KUUMAÖLJYJÄRJESTELMÄSSÄ.....	30
5.1	Ohjausjärjestelmän kehityskohteet .....	30
5.2	Energia- ja kustannustehokkuuden parantaminen .....	31
5.2.1	Kehitysehdotukset nykyiseen järjestelmään .....	31
5.2.2	Vaihtoehtoinen höyrylämmiteinen järjestelmä.....	33
6	YHTEENVETO .....	36
	LÄHTEET .....	37

## 1 JOHDANTO

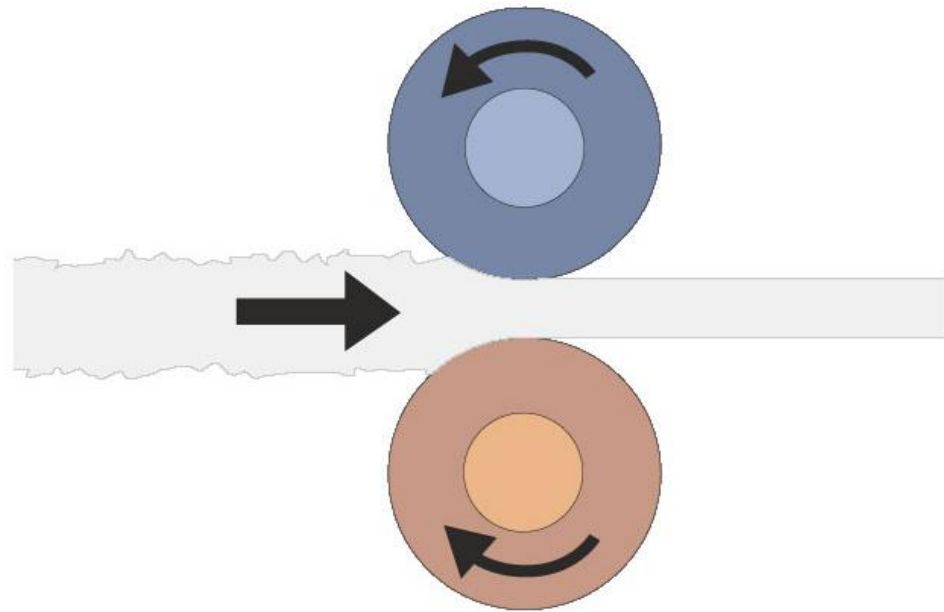
Opinnäytetyön tavoitteena on tarkastella UPM Kymin PK8-linjan off-machine-kalanterin kuumaöljykattilan nykytilaa sekä ehdottaa parannuksia nykyiseen järjestelmään. Kalanterilla ajetaan päällystettyjä selluloosasta valmistettuja paperilajeja, joita kutsutaan päällystetyksi hienopaperiksi (Wood Free Coated, WFC). Kalanteroinnilla parannetaan paperin pintaominaisuuksia, säädetään paksuutta ja tasataan paksuusprofiilia. Kuumaöljykattilan tuottamaa lämpöenergiaa käytetään OptiLoad-kalanterin neljän termotelan eli lämpötilasäätelyn telan lämmitykseen. Kuumaöljyjärjestelmä on hankittu kalanterivalmistajan kautta valmiina pakettina vuonna 2001, eikä sen toimintaan tai energiatehokkuuteen ole tarkasti perehdytty.

Keskeisinä tavoitteina on selvittää kalanterin termotelojen todellinen lämpötehontarve, kuumaöljykattilan lämmöntuottokapasiteetin tarve, järjestelmän kustannus- ja energiatehokkuuden parantaminen sekä ohjausjärjestelmien elinkaaren selvittäminen ja optimointi. Lisäksi tavoitteena on koota tiedot kuumaöljyjärjestelmän toiminnasta ja tämänhetkisestä tilanteesta yhdelle dokumentille. Opinnäytetyössä pohditaan myös vaihtoehtoista menetelmää termotelojen lämmitykseen käytettävän lämpöenergian tuotantoon. Tässä menetelmässä maakaasulämmitteinen kuumaöljykattila korvattaisiin neljällä höyryn ja kuumaöljyn lämmönvaihtimella.

UPM Kymin paperitehdas on perustettu vuonna 1872. Kuusankoskella sijaitseva tehdas kuuluu Kymin tehdasintegraattiin, johon kuuluvat paperitehtaan lisäksi sellutehdas, Kymin Voiman Oy:n biovoimalaitos sekä kalsiumkarbonaattia valmistava Schaefer Kalk Finland Oy:n tuotantolaitos. Paperitehdas valmistaa päällystettyjä ja päällystämättömiä hienopaperilajeja kahdella paperikoneella ja yhdellä päällystyskoneella. Jälkikäsittelyyn kuuluvat toimistopapereiden ja isojen arkkien leikkauslinjat. Paperin tuotantokyky on noin 710 000 tonnia vuodessa. (UPM Kymi 2020.)

## 2 KALANTEROINTIPROSESSI PAPERITEHTAALLA

Kalanterointi on paperikoneen kuivatusosalta tulevan paperin lisäkäsittelymenetelmä. Paperia käsitellään puristuspaheen, leikkausvoimien ja kitkavoimien avulla. Käsittely tapahtuu viemällä raina kahden toisiaan vastaan pyörivän telan, eli nipin välistä. Kalanteroinnin päätehtävät ovat paperin pintaominaisuuksien parantaminen, paperin paksuuden säätäminen, sekä paksuusprofiilin tasaaminen. Lisäksi kalanterointia voidaan käyttää myös tiettyjen erikoisominaisuuksien saavuttamiseen, kuten paperin kuviointiin. (KnowPap 2020.)



Kuva 1. Kalanteroinnin vaikutus paperirainaan. (KnowPap 2020)

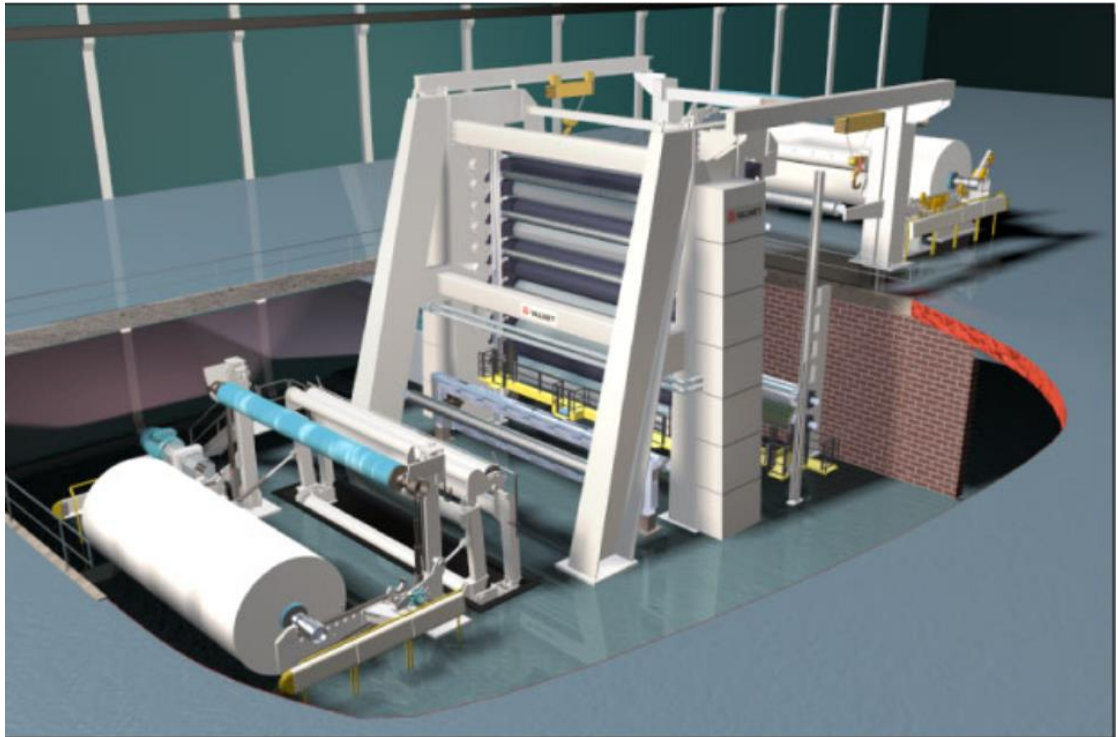
Kalanterointi tapahtuu joko paperikoneella, jolloin kyseessä on on-machine kalanterointi, tai jälkikäsittelyssä, jolloin kyseessä on off-machine kalanterointi.

## **2.1 UPM Kymin paperitehtaan kalanteri K1**

Kymin paperitehtaan PK8-linjan päällystettyjen WFC-paperilajien kalanterointi tapahtuu off-machine-kalanterilla. Kyseinen kalanteri on Valmetin valmistama OptiLoad-kalanteri. Paperi tulee OptiLoad-kalanterille päällystyskoneelta, jossa PK-8:lla valmistettuun pohjapaperiin lisätään päällyste. Tämän jälkeen päällystetty paperi kalanteroidaan OptiLoad-kalanterilla, jonka tehtävänä on säätää paperin paksuutta ja kiiltoa. Koneen poikkisuunnassa (Cross Direction, CD) säädetään paperin paksuutta. Paksuuden säätö tapahtuu nippikuormien säädöllä ja taipumakompensoitujen telojen vyöhykkeitä säätämällä. Paperin kiillon säätö tapahtuu nippikuormien ja termotelojen lämpötilan säädöllä. Termotelojen ollessa tasalämpöisiä koko leveydeltä, ei koneen poikkisuuntainen säätö ole mahdollista. Kiillon säätö tapahtuu siis konesuunnassa (Machine Direction, MD).

OptiLoad-monitelakalanteria käytetään pääasiallisesti painopapereiden kalanterointiin. Sillä pyritään aikaansaamaan paperille halutut painettavuusominaisuudet tiivistämättä paperia liikaa. OptiLoad-kalanteri on monitelakalanteri, jossa käytetään polymeeristä valmistettuja väliteloja. Kaikilla teloilla on yhteinen ominaistaipuma, joka mahdollistaa saman viivapaineen käytön jokaisessa nipissä. Tämä on OptiLoad-kalanterin suurin etu perinteiseen superkalanteriin verrattuna. (KnowPap 2020.)

OptiLoad-kalanterin runko on teräspalkeista ja poikkituista koottu rakenne. Pääosat ovat runko, prosessitelat laakeroiteineen, kuormituslaitteet sekä rulailimet. Lisäksi kokonaisuuteen kuuluu paljon aputeloja ja muita apulaitteita. Runko on I-mallinen, ja telasto on siinä runkopilareiden toisella sivulla. (KnowPap 2020.)

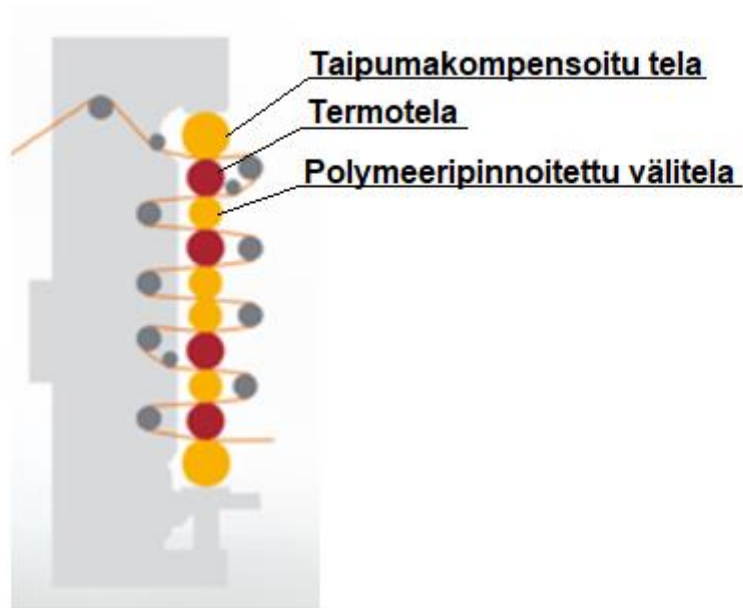


Kuva 2. Valmet OptiLoad -kalanteri. (KnowPap 2020)

Telaston tehtävänä on saada aikaan paperiin halutut ominaisuuksien muutokset. Telasto koostuu useista erilaisista teloista, joilla kaikilla on oma tehtävänsä halutun lopputuloksen saavuttamisessa. K1:n telasto koostuu kymmenestä telasta, joissa on kolmea eri telatyyppeä: termotela, polymeeripinnoitettu välitela ja taipumakompensoitu tela.

Kuvasta 3 näemme telaston rakenteen. Ylimmäisenä ja alimmaisena telana ovat taipumakompensoidut telat, termotelat ovat punaisia ja polymeeripinnoitetut välitelat ovat pienempiä keltaisia teloja.

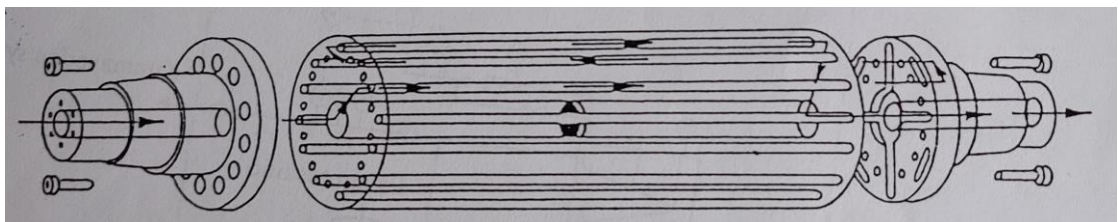




Kuva 3. 10-telaisen OptiLoad-kalanterin telasto sivustapäin kuvattuna. (Valmet 2020).

Termoteloja käytetään kalantereilla paperiradan lämmittämiseen paremman kalanterointituloksen saavuttamiseksi. Telan vaippa on kokillivalurautaa, joka on todella kovaa ja se voidaan hioa hienoon pinnankarheuteen. Termotelan rakenteesta riippuen lämmönsiirtoaine kiertää joko telan vaippaan poratuissa kehäporauksissa tai vaipan sisäpinnan ja keskireiässä olevan sisäpinnan välissä. Kehäporaukselliset telat jaetaan kolmeen eri ryhmään sen perusteella, kuinka monta kertaa lämmönsiirtoaine kulkee vierekkäisissä kehäporauksissa ennen kuin poistuu telasta. Nämä ryhmät ovat mono-, duo- ja tripass. (Know-Pap 2020).

UPM Kymin kalanteri 1:n termotelat ovat rakenteeltaan tripass P -tyyppisiä. Niissä lämmönsiirtoaineena käytettävä kuumaöljy virtaa vaippaan poratuissa kehäporauksissa. Lämmönsiirtoaine kulkee kolmessa vierekkäisessä porauksessa luovuttaen lämpöenergiaa telan pintaan.



Kuva 4. SHW-ÄQUITHERM-P-termotelan rakenne, Tripass. (Kalanterikirja Off-line OptiLoad kalanterille 2002)

Polymeeripinnoitetut välitelat ovat sijoitettu kalanterissa termoteloja vasten, ja niiden tehtävänä on tasata nipissä syntyvää painetta. Telaston keskelle sijoitella kahden peräkkäisen polymeeritelan nippiä kutsutaan kääntönipiksi, sillä sen tehtävä on kääntää paperiradan kalanteroitava puoli.

Taipumakompensoidut telat ovat sijoitettu kalanterin telaston ylimmäksi ja alimmaksi telaksi. Teloissa vaippaa tuetaan akselilta käsin eristetyillä hydrostaattisilla kuormituselementeillä. Kuormituselementit on jaettu telan sisällä vyöhykkeisiin, joiden kuormituspainetta voidaan säätää paperin profilointitarpeen mukaisesti. Niillä saadaan aikaan säädettävä nippipaine koko telan leveydeltä.

## **2.2 Kuumaöljyjärjestelmän toimintaperiaate**

Kuumaöljy on mineraalipohjaista tai synteettistä öljyä, jota käytetään väliaineena lämmönsiirrossa. Kuumaöljyjärjestelmä vastaa toimintaperiaatteeltaan perinteistä lämminvesikattilajärjestelmää, jossa lämmönsiirrossa käytettävä väliaine kiertää lämmitysyksikön ja käyttöyksikön välillä. Kuumaöljy lämmitetään kattilassa haluttuun lämpötilaan, josta se pumpataan putkistoa pitkin lämmitettävään käyttökohteeseen ja takaisin. (Kuumaöljykäyttäjäyhdistys 2016.)

Kuumaöljyjärjestelmiä käytetään yleisesti teollisuudessa korkeita lämpötiloja vaativissa prosesseissa, koska sen ominaisuuksilla saadaan useita etuja verrattaessa esimerkiksi höyryjärjestelmiin. Kuumaöljyjärjestelmillä on mm. seuraavia etuja:

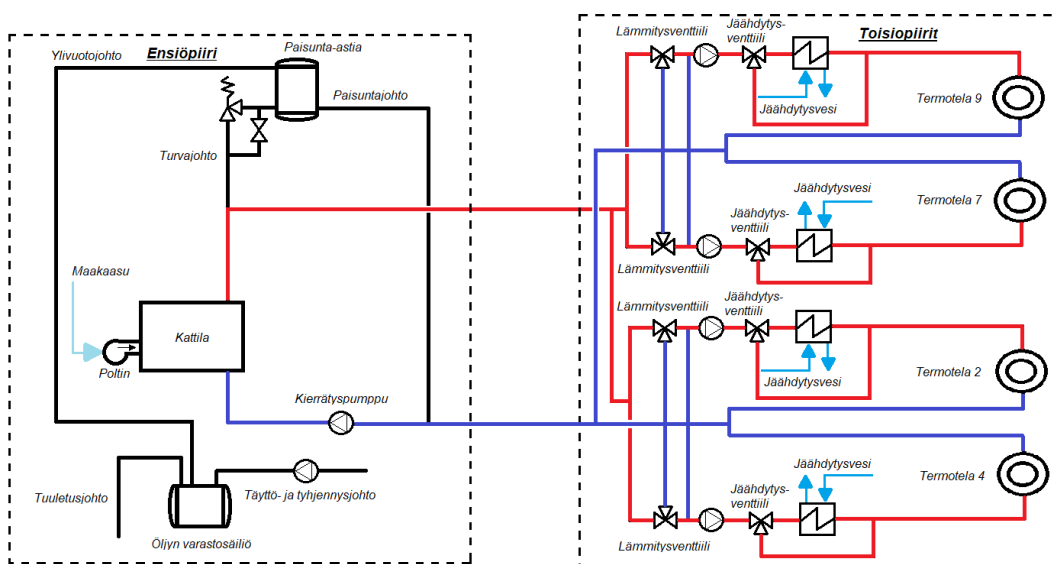
- 1) Korkea lämpötila voidaan saavuttaa matalassa paineessa.
- 2) Vesikemiasta ei tarvitse huolehtia.
- 3) Kuumaöljy ei aiheuta korroosio-ongelmia.
- 4) Järjestelmän ylläpitokustannukset ovat matalat.
- 5) Laitteisto on toimintavarma ja helppokäyttöinen. (Aura GmbH 2020).

### **2.2.1 K1:n termotelojen lämmitys- ja jäähdytysjärjestelmä**

K1:n termotelojen lämmitys- ja jäähdytysjärjestelmä on toteutettu kuumaöljyjärjestelmällä. Lämmitys- ja jäähdytysjärjestelmä koostuu kuumaöljykattilasta,

maakaasupolttimesta, ensiöpiiristä, neljästä telakohtaisesta toisiopiiristä, lämmönvaihtimista sekä neljästä kalanterin termotelasta. Jokaisella termotelalla on oma toisiopiiri, joka mahdollistaa telakohtaisen lämpötilansäädön. Lämmönsiirtoaineena järjestelmässä toimii öljy Mobiltherm 603.

Kuvassa 5 on yksinkertaistettu virtauskaavio termotelojen lämmitys- ja jäähdytysjärjestelmästä, josta näemme ensiöpiirin, kaikki neljä toisiopiiriä sekä järjestelmän muut pääkomponentit. Punaisella värillä on piirretty järjestelmän kuuman puolen putkisto, jossa kuumaöljykattilalta tuleva kuumaöljy virtaa termoteloille. Sininen väri tarkoittaa järjestelmän kylmän puolen putkistoa, jossa kuumaöljy virtaa termoteloilta takaisin kuumaöljykattilalle. Mustalla on piirretty järjestelmän muut osat, jotka eivät ole luokiteltavissa järjestelmän kylmään tai kuumaan puoleen.



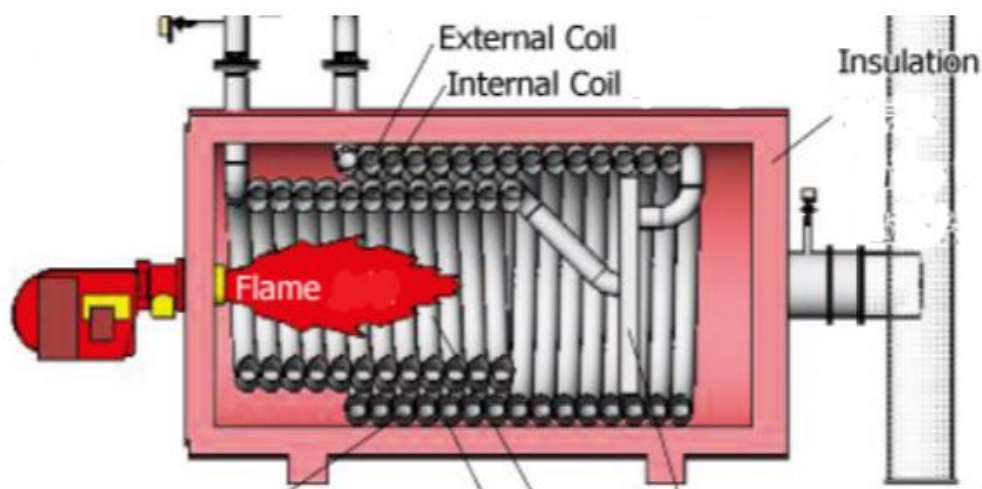
Kuva 5. Yksinkertaistettu kuva K1:n termotelojen lämmitys- ja jäähdytysjärjestelmästä.

Termoteloja voidaan lämmittää ja jäähdyttää ajettavan paperilaadun, ajonopeuden ja nippikuorman eli kahden telan välisen puristusvoiman mukaan. Termotelojen pintalämpötilat vaihtelevat edellä mainituista syistä ajotilanteessa välillä 60–140 °C.

### 2.2.2 Kuumaöljykattila

Kuumaöljykattila on AURA GmbH:n valmistama vaakamallinen lieriökattila. Kattilan sisällä lämmönsiirtoaine kiertää kierukassa, jossa se lämpenee maakaasupolttimen tuottamalla lämmöllä. Kattilan lämmittämä kuumaöljy siirretään putkistoa pitkin käyttökohteeseen.

Rakenteeltaan kattila on hyvin yksinkertainen. Lämmönsiirtoaineen lämmitys tapahtuu maakaasupolttimen liekin sekä kattilan kierukoita kiertävän savukaasun avulla. Kuvassa 6 näemme poikkileikkauskuvan Aura GmbH:n valmistamasta vaakamallisesta kuumaöljykattilasta.



Kuva 6. Poikkileikkauskuva vaakamallisesta kuumaöljykattilasta. (Aura GmbH 2020)

Tekniset tiedot ovat seuraavat:

Valmistaja	Aura GmbH
Tyyppi	AKL 5004
Lämmitysteho	4500 kW
Tulovirtauslämpötila	293 °C
Kattilan tilavuus	3704 dm <sup>3</sup>
Lämmityspinta-ala	173 m <sup>2</sup>
Läpivirtausmäärä	207 m <sup>3</sup> /h
Savukaasuvastus	6,5 mbar. (Teholuettelo 2001.)

### 2.2.3 Maakaasupoltin

Maakaasupoltin on Weishauptin valmistama puhallinpoltin. Kyseessä on säätötavaltaan moduloiva eli liukuväsäätöinen poltin. Tämä tarkoittaa sitä, että polttimen tehoa säädetään liukuvasti lämpötehontarpeen mukaan. Tehon säätäminen tapahtuu säätämällä maakaasun sekä paloilman määrää. Maakaasupolttimen toimintojen ohjaus on toteutettu ohjausyksiköllä Siemens LFL 1.322, joka on täysin automaattisesti toimiva keskikoisille sekä suurille moduloiville kaasu- ja öljypolttimille suunniteltu ohjausyksikkö. Ohjausyksikkö huolehtii polttimen käynnistyssekvenssistä, liekin valvonnasta, ilman- ja kaasun paineesta ja muista turvatoiminnoista.

Tekniset tiedot ovat seuraavat:

Valmistaja	Weishaupt
Tyyppi	G60/2-A ZM
Lämmitysteho	800-6100 kW
Säätötapa	Moduloiva
Polttoaine	Maakaasu
Sähkön tehonotto	13,5 kW. (Teholuettelo 2001.)

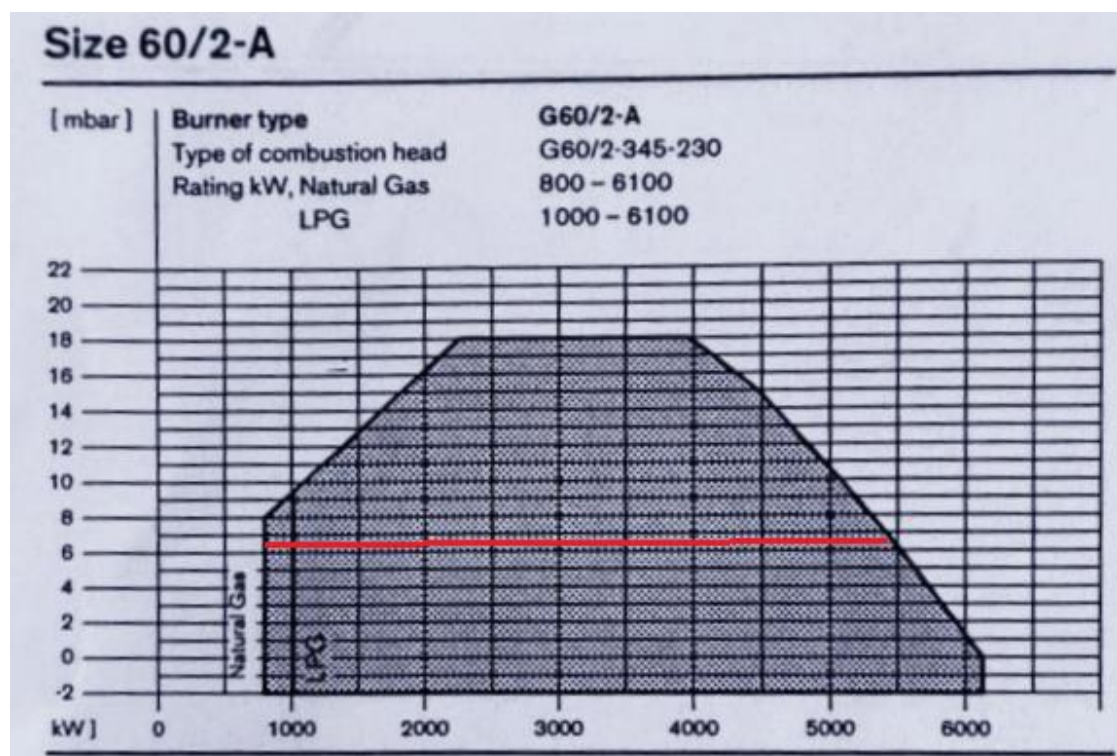
Polttimen tehonsäätö tapahtuu säätölaitteen avulla, joka ohjaa valvottua suurta aseteltuun arvoon. Tässä tapauksessa polttimen tehonsäätimenä toimii JUMO DICON 500 -yksikkösäädin. Yksikkösäätimeen konfiguroidaan halutut säätöalgoritmit ja asetellaan säätöparametrit siten, että polttimen toiminta olisi mahdollisimman tehokasta.

Tehonsäädin toimii PID-säätäjänä. Säädin ohjaa polttimen säätömoottoreita tehontarpeen mukaan. Ohjelmaan asetellaan ylä- ja alaraja arvot. Säätimen tulisi säätää tehoa ennakoivasti, yrittäen pitää asetettua lämpötila-arvoa yllä. Säädin alentaa tehoa, mitä lähemmäs ylärajaa mennään ja puolestaan lisää tehoa, mitä lähempänä ollaan alarajaa. Säätimen lämpötilatieto tulee lämpötila-anturilta, joka mittaa kuumaöljykattilasta lähtevän kuumaöljyn lämpötilaa.

Teoreettinen moduloinnin alue Weishaupt G60 A-2/ZM -polttimella on 800–6100 kW. Tämän alueen laajuuteen voi kuitenkin vaikuttaa useat asiat, kuten

kattilan savukaasuvastus, savukaasujen lämpötila sekä kattilavalmistajan ilmoittama minimiteho.

Kattilan savukaasuvastus voi rajoittaa polttimen toiminta-aluetta. Maakaasupolttimille valmistaja on määritellyt ominaiskäyrän, josta voidaan nähdä polttimen toiminta-alue savukaasuvastuksen mukaan. Kattilanvalmistaja Aura GmbH:n ilmoittama savukaasuvastus tälle kattilalle on 6,5 mbaaria. Weis-hauptin määrittelemästä polttimen ominaiskäyrästä pystymme toteamaan, että tässä kattilassa tämän polttimen teoreettinen toiminta-alue on maakaasua poltettaessa 800–5500 kW. Kattilanvalmistajan mukaan kyseiselle kuumaöljykattilalle ei ole erikseen asetettu minimitehoa, joten minimiteho määräytyy polttimen toiminta-alueen mukaan. Kuvaan 11 on piirretty viiva, joka näyttää polttimen toiminta-alueen 6,5 mbaarin savukaasuvastuksella.



Kuva 7. Maakaasupolttimen ominaiskäyrä. (Installation and operating instructions... 2020)

Savukaasujen lämpötila voi rajoittaa polttimen toiminta-aluetta aluetta siten, että pienellä teholla savukaasujen lämpötila laskee liian alhaiseksi. Savukaasujen suosituslämpötila on vähintään 120 °C kattilasta poistuessa. Liian alhainen savukaasujen lämpötila aiheuttaa maakaasun poltossa savukaasuun muodostuvan veden haitallista tiivistymistä savuhormissa. Tässä tapauksessa

savukaasujen lämpötilalla ei kuitenkaan voi olla rajoittavaa vaikutusta modu-  
loinnin alueeseen, sillä kuumaöljy on yli 120 °C lämpötilassa palatessaan kat-  
tilaan. Savukaasujen lämpötila ei voi laskea kattilassa matalammaksi kuin kat-  
tilan kylmin kohta, joka on tässä tapauksessa palaava kuumaöljy. Näin ollen  
polttimen teoreettinen toiminta-alue tulisi olla 800–5500 kW tässä järjestel-  
mässä.

#### **2.2.4 Kuumaöljyjärjestelmän piirit**

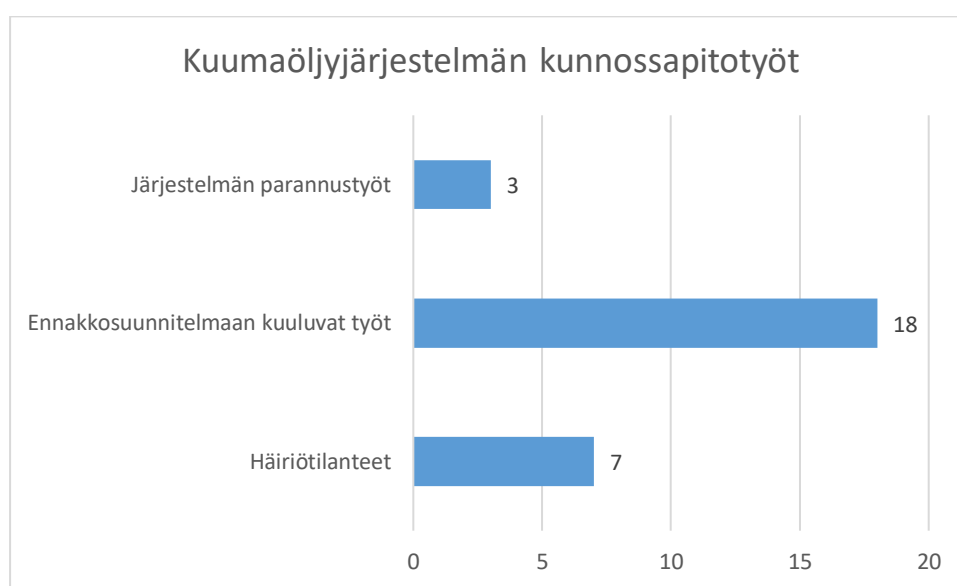
Ensiöpiirin pääkomponentit ovat maakaasupolttimella lämmitettävä kuumaöljy-  
kattila ja kierrätyspumppu. Järjestelmään kuuluu myös paisunta-astia, öljyn  
varastosäiliö, täyttö- ja tyhjennyspumppu, suodattimet, kaasunerotin sekä tar-  
vittavat ohjaus- ja varolaitteet. Ensiöpiirin tehtävänä on tuottaa kuumaöljyä toi-  
siopiirien tarpeiden mukaisesti. (Kalanterikirja Off-line OptiLoad -kalanterille  
2002.)

Toisiopiirit muodostuvat lämmitys- ja jäähdytysventtiileistä, lämpötilalähetti-  
mistä, virtausvaihdeista, vesiventtiilistä, sulkuventtiilistä, suodattimista ja läm-  
mönvaihtimesta. Toisiopiirien tehtävänä on säätää termotelojen pintalämpötila  
halutuiksi. Telojen lämpötilansäätö tapahtuu ohjaamalla kolmitieventtiilejä.  
Lämpötilan nostaminen tapahtuu avaamalla lämmitysventtiiliä, jolloin ensiöpii-  
ristä pääsee kuumaa öljyä toisiopiiriin ja vastaava määrä jäähtynyttä öljyä pa-  
laa toisiopiiristä ensiöpiiriin. Jäähdytys tapahtuu avaamalla jäähdytysventtiiliä,  
joka ohjaa halutun jäähdytystehon mukaan osan toisiopiirin öljykierrosta läm-  
mönvaihtimen läpi, jossa öljyn lämpötilaa alennetaan jäähdytysveden avulla.  
(Kalanterikirja Off-line OptiLoad -kalanterille 2002.)

### **2.3 Kuumaöljyjärjestelmän kunnossapito**

Kuumaöljyjärjestelmän arviointi perustuu tässä työssä SAP-kunnossapitojär-  
jestelmään tehtyihin kirjauksiin, varaosatilanteeseen sekä järjestelmän ikään.  
SAP-kunnossapitojärjestelmään on tehty ensimmäiset kirjaukset kuumaöljyjär-  
jestelmästä vuonna 2007, vaikka kuumaöljyjärjestelmän käyttö on aloitettu  
vuonna 2001. Näin ollen vuosilta 2001–2007 tietoa järjestelmälle tehdyistä toi-  
menpiteistä ei ole. Järjestelmään tehdyt kirjaukset on tässä työssä jaettu kol-  
meen eri kategoriaan: häiriötilanteet, ennakkosuunnitelmaan kuuluvat työt ja  
järjestelmän parannustyöt.

Häiriötilanteet ovat aiheutuneet pääasiallisesti pumppujen, venttiilien ja maakaasupolttimen vioista. Ennakkosuunnitelmaan kuuluvat työt ovat määräraikaistarkistuksia järjestelmän lämmönvaihtimille sekä painelaitetarkistuksia kuumaöljykattilalle. Järjestelmän parannustyöt ovat painelaitetarkastuksissa havaittuja kehityskohteita järjestelmän turvallisuuden parantamiseksi. Järjestelmän kunnossapitotyöt ovat painottuneet selvästi ennakkosuunnitelman mukaisiin töihin, eikä häiriötilanteita ole ollut useasti. Kuvasta 7 näemme, miten järjestelmään tehdyt työt ovat jakautuneet näiden kolmen eri kategorian välillä.

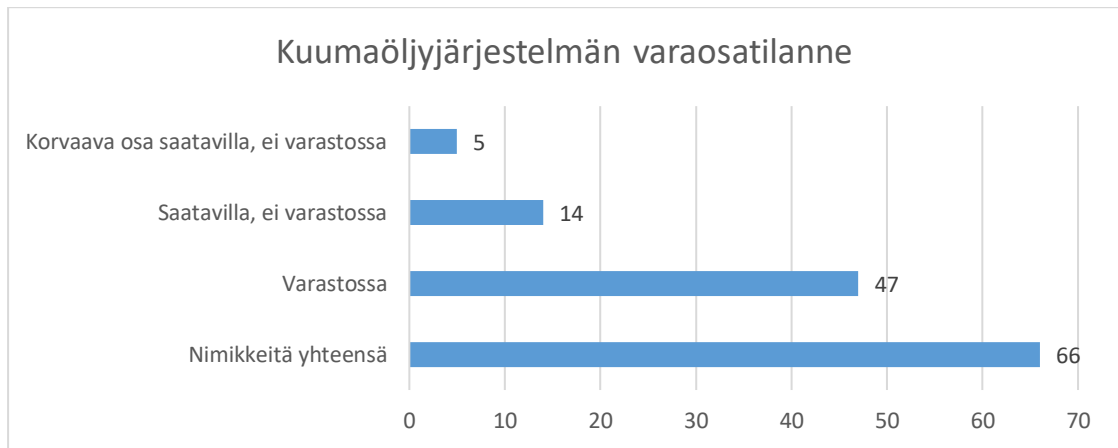


Kuva 8. Kuumaöljyjärjestelmälle tehdyt kunnossapitotyöt.

Kuumaöljyjärjestelmän ikääntymisen myötä kunnossapitotöiden määrä ei ole lisääntynyt, sillä ennakkosuunnitelmaan kuuluvien töiden määrä pysyy samana, eikä vikatilanteiden määrä ole ikääntymisen myötä lisääntynyt. Tästä voimme päätellä, että järjestelmä toimii tällä hetkellä normaalisti.

Järjestelmän varaosatilannetta on kartoitettu selvittämällä SAP-kunnossapitojärjestelmästä löytyvien nimikkeiden, eli kohteessa käytettävien osien varastotilanne ja saatavuus. Kuvaan 8 on merkitty nimikkeiden kokonaismäärä, varastossa olevien varaosien määrä sekä varaosien saatavuus niiltä nimikkeiltä, joita varastossa ei ole.





Kuva 9. Kuumaöljyjärjestelmän varaosatilanne.

Nimikkeiden kokonaismäärän vastatessa varastossa olevien ja saatavilla olevien osien yhteenlaskettuun määrään, voidaan päätellä, että järjestelmän kaikkia varaosia on joko varastossa tai saatavilla varaosatoimittajilta.

## 2.4 Lain asettamat vaatimukset kuumaöljykattilalle

Painelaitelaissa painelaitteella tarkoitetaan säiliötä, putkistoa ja muuta teknistä kokonaisuutta, jossa on tai johon voi kehittyä ylipainetta (Painelaitelaki 1144/2016). K1:n kuumaöljykattila kuuluu siis painelaitelain alaisuuteen. Painelaitteen omistajan tai haltijan on nimettävä rekisteröitävän painelaitteen asianmukaista käyttöä valvomaan käytön valvoja, jolla on tehtävään 72§:ssä säädetty pätevyys. Painelaitteen omistajan tai haltijan on huolehdittava seuraavista asioista:

- 1) Käytön valvoja saa tietoonsa kaikki painelaitteen käyttöön ja kuntoon liittyvät seikat.
  - 2) Käytön valvojalle annetaan mahdollisuus hoitaa ja käyttää painelaitetta niin, ettei siitä aiheudu vaaraa ihmisille tai omaisuudelle.
  - 3) Painelaitteelle nimetään yksi tai useampi käytön varavalvoja, joka toimii käytön valvojana, kun varsinainen käytönvalvoja on estynyt hoitamasta tehtäviään.
  - 4) Painelaitteen käyttäjänä toimiva henkilökunta on ammattitaitoista ja tehtäviinsä perehdytettyä.
  - 5) Painelaitteen omistajan tai haltijan vaihdoksen yhteydessä valvontaviranomaiselle ilmoitetaan uuden omistajan tai haltijan yhteystiedot.
- (Painelaitelaki 70. §.)

Käytön valvojalla on oltava painelaitteen rakennetta, käyttöä ja kunnossapitoa koskeva riittävä asiantuntemus. Kattilalaitoksissa, jossa on yksi tai useampi painelaiterekisteriin rekisteröitävä höyry- tai kuumavesikattila ja niiden yhteenlaskettu teho on suurempi kuin yksi megawatti tai niistä yhdenkin suurin sallittu käyttöpaine on yli kymmenen baaria, käytön valvojalla tulee olla teholutkia vastaava pätevyys. (Painelaitelaki 72. §.)

Teholuku voidaan määrittää yhtälöstä 1:

$$TL = p_{max} * P_{max} \quad (1)$$

jossa	TL	Teholuku	[barMW]
	$p_{max}$	Suurin sallittu käyttöpaine	[bar]
	$P_{max}$	Kattilan huipputeho	[MW]

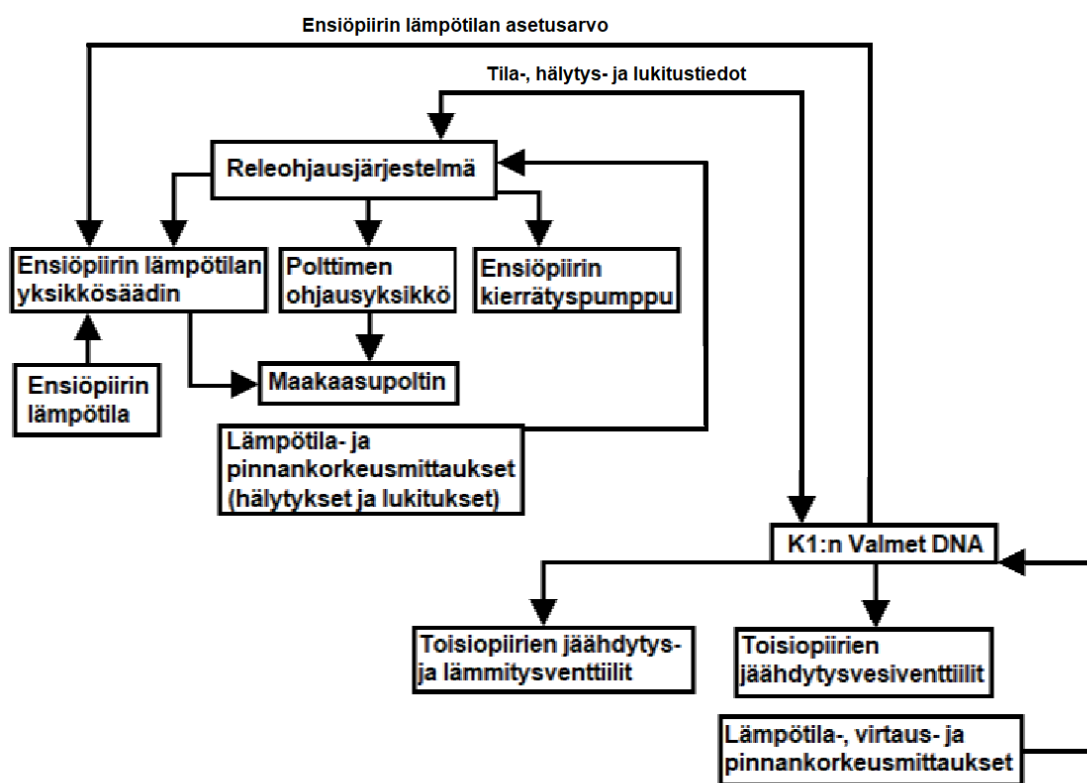
Suurin sallittu käyttöpaine K1:n kuumaöljykattilassa on 10 baaria ja huipputeho on 4,5 MW. Tällöin teholutuksi saadaan 45 baariMW (baarimegawattia). Näin ollen tämän kattilan käytönvalvojalla tulee olla vähintään A-koneenhoitajankirja (Painelaitelaki 72. §). Kymin paperitehtaalla kuumaöljykattilan käytönvalvonta on toteutettu sellutehtaan henkilöstön avustuksella. Kuumaöljykattilan käytönvalvojan pätevyys on tällä hetkellä DI/INS kattilalaitoksen käytönvalvoja. Käytön varavalvojan pätevyys on ylikonemestari.

A-koneenhoitajankirjan saamiseksi vaaditaan seuraavaa:

- 1) Vaaditaan vähintään 12 kuukautta työkokemusta höyry- ja kuumavesikattilan lämmittäjänä kattilalaitoksessa, jonka käytön valvojalta vaaditaan vähintään A-koneenhoitajankirja.
- 2) Vaaditaan vähintään 12 kuukautta työkokemusta painelaitteiden, voimalaituskoneiden tai vastaavien valmistus-, asennus-, korjaus- tai kunnossapitotehtävistä, josta vähintään 6 kuukautta höyry- tai kuumavesikattiloihin liittyvissä tehtävissä.
- 3) Tulee olla A-koneenhoitajan koulutus. (Asetus kattilalaitosten käytönvalvojien pätevyyskirjoista 891/1999).

### 3 KUUMAÖLJYKATTILAN OHJAUSJÄRJESTELMÄ

Kuumaöljykattilalla on paikallinen releohjausjärjestelmä, joka toimii yhteistyössä OptiLoad-kalanterin Valmet DNA -järjestelmän kanssa. Releohjausjärjestelmä huolehtii pääasiallisesti kuumaöljykattilan ensiöpiirin, sekä kattilan ohjauksesta, kun taas Valmet DNA vastaa toisiopiirien ohjauksesta aina sää- töventtiileiltä termoteloille asti. Järjestelmät ovat myös yhteyksissä toisiinsa. Releohjausjärjestelmä ja Valmet DNA vaihtavat käynti- ja häiriötietoja, hälytystietoja ja lukitustietoja. Myös ensiöpiirin lämpötilan asetusarvo on mahdollista asettaa Valmet DNA -järjestelmän kautta.



Kuva 10. Kaaviokuva kuumaöljykattilan ja kalanterin automaatiojärjestelmästä sekä yhteyksistä toisiinsa.

#### 3.1 Kuumaöljykattilan releohjausjärjestelmä

Kuumaöljykattilan paikallinen ohjausjärjestelmä on toteutettu pääasiallisesti releohjauksella. Ohjausjärjestelmän sähkökeskus sijaitsee kattilahuoneessa, aivan kuumaöljykattilan vieressä. Sähkökeskuksessa on ohjainyksikkö Siemens LFL 1.355 -maakaasupolttimelle, yksikkösäädin ensiöpiirin lämpötilan säätämiseen, useita kymmeniä releitä ensiöpiirin eri ohjaustoimintoihin sekä

häiriöitä ilmaisevia valoja. Ensiöpiirin ohjaus tapahtuu aina paikallisohjauksella. Releillä toteutettu ohjausjärjestelmä on yksinkertainen ja halpa toteuttaa, mutta vaatii paljon johdotustyötä keskuksen valmistusvaiheessa. Muun muassa kierrätyspumpun käynnistys, maakaasupolttimen toiminnot, eri hälytykset ja lukitukset ovat toteutettu releillä.

Rele on kytkimen tapainen sähkömekaaninen ohjauslaite, jonka toiminta perustuu sähkömagneettiin. Erona tavalliseen kytkimeen on se, että tavallinen kytkin tekee kytkennän mekaanisen liikkeen avulla, kun taas rele tekee kytkennän sähkövirran avulla. Releitä hyödyntämällä voidaan esimerkiksi kytkeä pienellä ohjausvirralla suuriakin virtoja päälle ja pois. Releet voidaan jakaa kolmeen eri kategoriaan kokoluokituksen mukaan. Pienimpiä ovat releet, jotka ovat juotettavissa suoraan piirilevyyn. Keskikokoiset releet kiinnitetään omaan kantaansa, joka voidaan kiinnittää esimerkiksi 35 mm:n C-kiskoon. Kaikkein suurimpia releitä kutsutaan kontaktoreiksi. Niissä on pääkoskettimet, jotka hoitavat kytkennän. Kontaktoreissa voi olla myös apukoskettimia, esimerkiksi tilatietoja varten. (Fonselius ym. 1996, 92.)

Releen sisällä olevaan käämiin kytketään ohjausvirta, jonka seurauksena käämin sisällä oleva rautasydän tulee magneettiseksi. Rautasydän vetää releen liikkuvat koskettimet kiinni paikallaan oleviin koskettimiin tai irrottaa ne toisistaan, riippuen releen koskettimien tyypistä. Ohjausvirran katketessa releen koskettimet palautuvat takaisin alkuasentoon, joko jousivoiman tai esijännityksen avulla. Tietyissä reletyypeissä voivat koskettimet jäädä paikalleen ohjausvirran katketessa, esimerkiksi sysäysreleissä.

Releessä olevat kytkentäkoskettimet kuluvat käytössä, sillä ne liikkuvat mekaanisesti ja mekaaninen liike on kuluttavaa. Rele kestää sen laadusta riippuen noin miljoona kytkentäkertaa hyvissä ja kuivissa olosuhteissa. Olosuhteiden ollessa kylmät tai muuten mekaanista liikettä rasittavat, lyhenee releen käyttöikä huomattavasti. Releiden korvaajaksi ovat tulossa puolijohdereleet, jotka ovat puolijohdekomponentteja, joissa kytkentä tapahtuu ilman mekaanista liikettä. Releillä tapahtuvat kytkennät ja katkaisut tapahtuvat virrallisena, joka aiheuttaa kosketinpintojen kulumista ja palamista. Kosketinpintojen kulumisen tai kiinnihitsautuminen on releissä yleisin vika, josta seuraa tarve uusia koko rele. (Fonselius ym. 1996, 92.)

Ensiöpiirin lämpötilan ohjaus on toteutettu JUMO DICON 500 -yksikkösäätimellä. Yksikkösäädin on erillinen säätölaite, joka suorittaa tarvittavat säätötoimenpiteet yksin ja yhdelle prosessille. Siihen liittyy vähintään yksi anturi, jolla se mittaa tarvittavia suureita. Lisäksi yksikkösäätimeen liittyy toimilaite, jolla suoritetaan säätötoimenpiteitä. Yksikkösäätimessä on yleensä näyttö etulevyssä, jonka avulla voidaan tarkkailla mitattavia suureita tai tilatietoja sekä tehdä asetuksia, kuten muuttaa asetusarvoa.

Tässä tapauksessa yksikkösäädin käsittelee lämpötilamittaustietoja ensiöpiiristä ja niiden perusteella tekee ohjauskomentoja moduloivalle maakaasupolttimelle, jonka teho säätyy ohjauksen mukaan. Ensiöpiirin lämpötilan asetusarvon asettaminen tapahtuu joko paikallisesti yksikkösäätimen näytöltä asettamalla tai vaihtoehtoisesti K1:n Valmet DNA -järjestelmästä asettamalla.

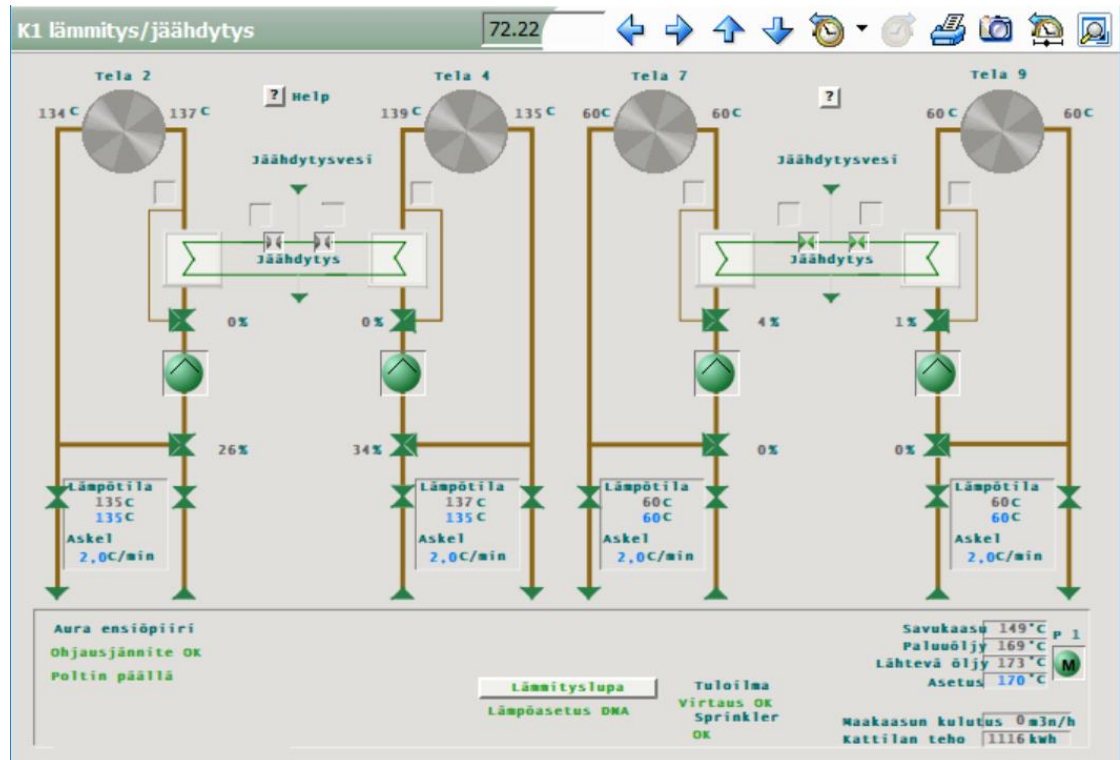
### **3.2 Valmet DNA -ohjausjärjestelmä K1-kalanterin kuumaöljyjärjestelmän osalta**

Valmet DNA on hajautettu automaatiojärjestelmä, jota käytetään suuriin prosessiteollisuuden sovelluksiin, kuten paperiteollisuuden prosesseihin. Järjestelmän pääkomponentteja ovat valvomoasemat, prosessiasemat, järjestelmäväylät sekä kenttäväylät. Hajautetussa ohjausjärjestelmässä prosessiohjauksen tietokanta hajautetaan viemällä prosessiasemat lähelle todellista prosessia. Tästä on hyötynä se, että prosessiasemat pystyvät hoitamaan mittaustietojen käsittelyn ja ohjauksen tekemisen paikan päällä, eikä tietoja tarvitse lähettää keskustietokoneelle laskentaa varten.

Valvomoasemilta tehdään operaattoritoiminnot, kuten asetusarvojen ja ohjausmoodien muutokset. Prosessiasemat käsittelevät mittaustietoja, laskevat ohjauksia ja tekevät ohjaustoimenpiteitä. Järjestelmäväylä on tietoväylä prosessiasemien ja valvomoasemien välillä. Kenttäväylillä liitetään kenttälaitteet prosessiasemaan.

K1-kalanterin Valmet DNA -järjestelmä huolehtii kuumaöljyjärjestelmän toisiopiirien ohjauksesta. Valvomoasemilta asetellaan asetusarvo termotelojen pintalämpötilalle. Prosessiasema käsittelee lämpötilamittaustietoja ja tekee

sen mukaan ohjaustoimenpiteitä jäähdytys- ja lämmitysventtiileille sekä jäähdytysvesiventtiileille. Tämän lisäksi prosessiasema hoitaa järjestelmän lukitukset, joiden perusteina ovat virtaus, lämpötila sekä pinnankorkeusmittaukset.



Kuva 11. Valmet DNA -järjestelmän ajokaaviokuva K1:n lämmitys- ja jäähdytysjärjestelmästä.

### 3.3 Ohjausjärjestelmien elinkaarimalli

ABB:n määritelmän mukaan tuotteen elinkaari tarkoittaa aikaa, jolloin tuotteelle tarjotaan tukea ja varaosia valmistajien toimesta. Elinkaari voidaan jakaa neljään pää vaiheeseen. Nämä neljä päävaihetta ovat aktiivinen, klassinen, rajoitettu ja vanhentunut vaihe. Tätä elinkaarimallia voidaan soveltaa K1:n ensiöpiiriin paikalliselle releohjausjärjestelmälle ja toisiopiiriin Valmet DNA -järjestelmälle.

Jokainen tuote aloittaa elinkaarensa aktiivisesta vaiheesta, kun se tulee markkinoille. Tässä vaiheessa tuotetta aletaan aktiivisesti myymään uusiin laitoksiin ja prosesseihin. Tämän vaiheen aikana tuotteen kehitys on aktiivista ja siihen pyritään luomaan uusia toimintomahdollisuuksia. Aktiivisen vaiheen kesto vaihtelee markkinaolosuhteiden ja teknologian kehityksen mukaan. (ABB 2020.)

Seuraavana vaiheena tuotteen elinkaareissa tulee klassinen vaihe. Klassisessa vaiheessa kunnossapito rajoittuu tuotteiden vaihtoon komponenttien saatavuuden päättymisen tai vakavien toimintaan vaikuttavien ongelmien vuoksi. Klassiseen vaiheeseen sisältyy myös ilmoitus tuotteen myynnin päättymisestä. Myös mahdollinen järjestelmien päivittäminen ja täydentäminen uuden teknologian kehityksen mukaiseksi kuuluu tähän vaiheeseen. (ABB 2020.)

Kolmas vaihe tuotteen elinkaareissa on rajoitettu vaihe. Tässä vaiheessa tuotestuu siirtyy palveluorganisaatiolle, joka vastaa tuotetuen toimittamisesta. Tyypillisesti tuki rajoittuu kenttäpalveluun, korjaamotyöhön ja kunnostettuihin varaosiin. Tämän vaiheen aikana on suositeltavaa, että käyttäjät alkavat suunnittelemaan uuteen tekniikkaan siirtymistä, ennen kuin tuotetuki päättyy kokonaan (ABB 2020). K1:n kuumaöljyjärjestelmän toisiopiirin Valmet DNA -järjestelmän voidaan katsoa olevan tässä elinkaarivaiheessa.

Viimeisenä vaiheena elinkaareissa on vanhentunut vaihe. Tähän vaiheeseen siirryttäessä automaatiopalveluorganisaatio toteaa, ettei tuen tarjoaminen tuotteelle ole enää teknisesti mahdollista tai taloudellisesti kannattavaa (ABB 2020). Valmistajan ilmoitettua, ettei haluttua laitetta enää ole saatavilla, on yleensä siitä tehty paranneltu tai vastaava laite uudemmalla tekniikalla. K1:n kuumaöljyjärjestelmän ensiöpiirin paikallisen releohjausjärjestelmän voidaan katsoa olevan tässä elinkaarivaiheessa.

Varaosien valmistaminen tapahtuu aktiivisen ja klassisen vaiheen aikana. Kun tuote siirtyy rajoitettuun vaiheeseen, sen varaosien valmistus lopetetaan. Rajoitetussa vaiheessa varaosien saatavuus kestää niin kauan kuin komponentteja ja materiaaleja on saatavilla. Sen jälkeen siirrytään varaosien korjaus- ja kunnostuspalveluihin. (ABB 2020.)

### **3.3.1 Ensiöpiirin releohjausjärjestelmän nykytila**

Ensiöpiirin releohjausjärjestelmä on tällä hetkellä toimiva ja yksinkertaisesti toteutettu ohjausjärjestelmä ensiöpiirin ohjaukseen. Ohjausjärjestelmä pystyy selviytymään hyvin ensiöpiirin ohjaukseen vaadittavista toimenpiteistä.

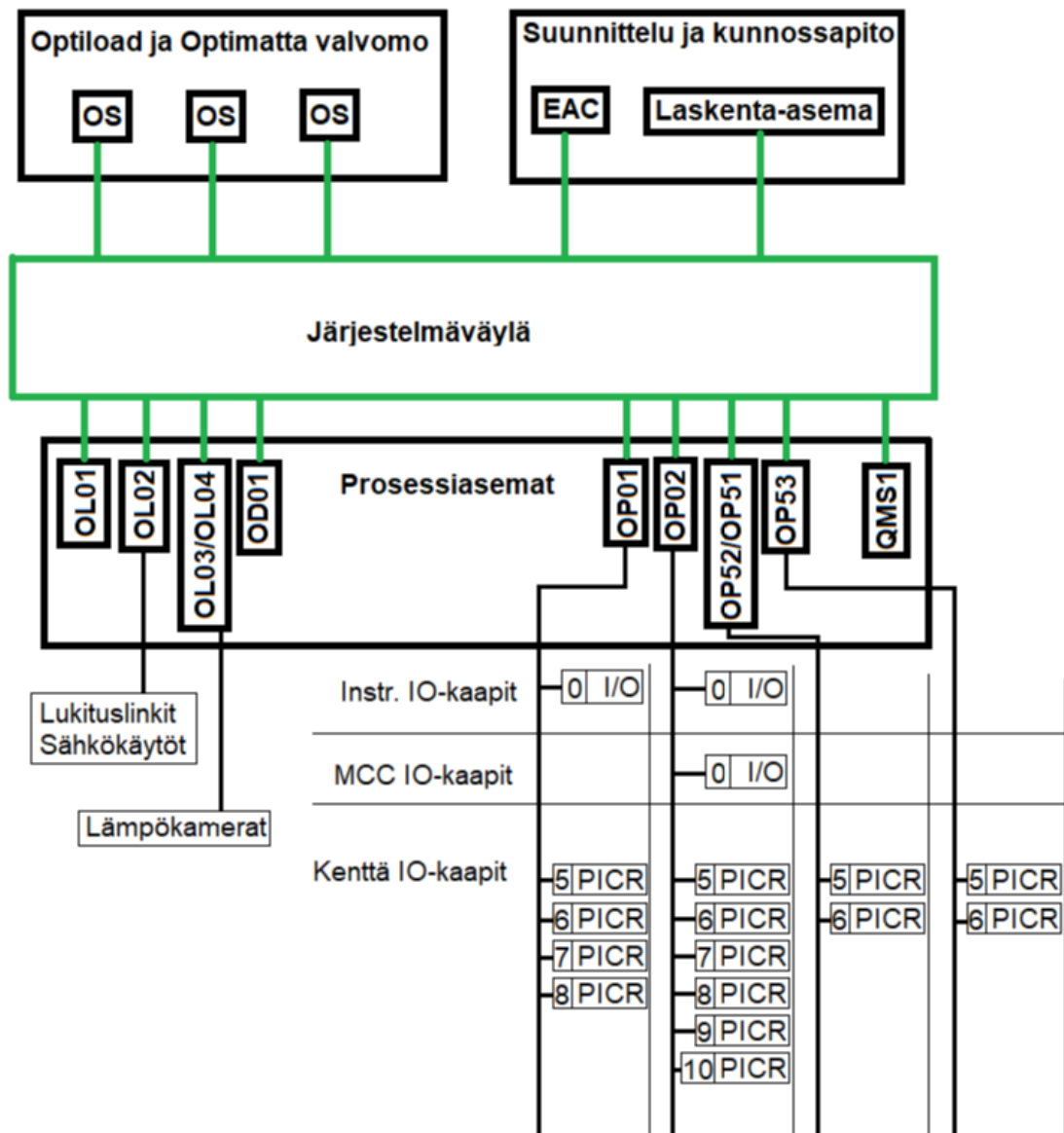
Ohjausjärjestelmässä käytettävä tekniikka on kuitenkin hyvin vanhaa, joka voi tuoda ongelmia järjestelmän tulevaisuuteen. Tulevaisuudessa ongelmatilanteita voi syntyä varaosien saatavuuden, kunnossapitohenkilöstön osaamisen sekä järjestelmän mahdollisten muutos- tai kehitystöiden kanssa.

Ohjausjärjestelmän varaosat ovat sisällettynä kuvaan 9. Tällä hetkellä varaosatilanne on hyvä. Varaosien saatavuus voi kuitenkin muuttua lyhyessä ajassa tekniikan iästä johtuen. Järjestelmän kehittäminen tai muuttaminen on reletekniikan takia työlästä ja monimutkaisia ohjaustoimenpiteet ovat haastavia toteuttaa. Vanhan tekniikan käyttö aiheuttaa myös kunnossapitohenkilöstölle ongelmia tulevaisuudessa, sillä koulutuksissa keskitytään pääasiassa uudempaan tekniikkaan, eikä vanhaa tekniikkaa enää opeteta. Tämä aiheuttaa sen, että vanhempien kunnossapitotyöntekijöiden siirtyessä pois työelämästä siirtyä heidän mukanaan myös osaaminen ja ymmärrys vanhan tekniikan kunnossapidosta.

### **3.3.2 Toisiopiirin Valmet DNA -järjestelmän nykytila**

Toisiopiirin ohjausjärjestelmänä toimiva K1:n Valmet DNA -järjestelmän rakenne näkyy kuvan x järjestelmäkaaviosta. Järjestelmän pääasialliset komponentit ovat operointiasemat, suunnittelu- ja kunnossapitoasemat, järjestelmäväylä, prosessiasemat ja IO-kehikot. K1:n Valmet DNA -järjestelmään kuuluu yhteensä 55 piiriä, jotka ovat osana termotelojen lämmitysjärjestelmää. Piirit ovat nähtävänä eriteltyinä liitteestä 1 löytyvistä piiriluetteloista.





Kuva 12. K1:n Valmet DNA -järjestelmäkaavio.

Valmetin ohjausjärjestelmien elinkaariajattelu perustuu järjestelmän elämiseen ja kehittymiseen tuotantolaitoksen tarpeiden mukaan. Vanhat järjestelmät, kuten metsoDNA ovat täysin kommunikoivia ja sovelluksiltaan yhteensopivia uuden järjestelmän kanssa, joten tarvittaessa ohjausjärjestelmää voidaan päivittää osittain (Valmet 2020).

K1:n Valmet DNA -järjestelmä on hankittu vuonna 2001, jolloin sen nimenä on ollut metsoDNA. Ohjausjärjestelmä sijoittuu ABB:n elinkaarimallissa kolmanteen, eli rajoitettuun vaiheeseen. Käytännössä järjestelmän päivittäminen on ajankohtaista silloin kun tuotetuki ja saatavuus käytössä olevalle laitteistolle loppuu tai kun järjestelmää laajennetaan.

## 4 KUUMAÖLJYKATTILAN ENERGIANKULUTUS

Kuumaöljykattilan energiankulutus vaihtelee ajoittain paljon, johtuen kalanterin käyttöasteesta. Kalanterin käyttöasteesta ei ole olemassa tarkkaa tietoa viime vuosilta, mutta käyttöhenkilökunnan ilmoittaman tiedon mukaan kalanterin käyttöaste on tällä hetkellä noin 50 %, eli noin 4380 tuntia vuodessa. Kalanterin seisoessa kuumaöljyjärjestelmä on kokonaan pois päältä. Toinen tekijä, joka vaikuttaa kuumaöljykattilan energiankulutukseen suuresti on eri paperilaatujen kalanterointi. Eri paperilaaduissa suurin vaikutus kuumaöljykattilan energiankulutukseen tulee päällystyksen tyypistä. Jos paperi on päällystetty vain toiselta puolelta, vain kaksi termotelaa tulee olla lämmitettyjä. Jos taas paperi on päällystetty molemmilta puolilta, tulee kaikkien neljän termotelan olla lämmitettyinä halutun lopputuloksen saavuttamiseksi. Myös termotelojen pintalämpötilat vaihtelevat paperilajien mukaan.

Tässä työssä kalanterin energiankulutus määritellään hyödyntämällä Valmet DNA -järjestelmästä löytyvää mittaustietoa maakaasupolttimen kuluttamasta polttoaineen määrästä. Kalanterin epätasaisesta käynnistä ja erilaisista paperilajeista johtuen olisi energiankulutus selvempi määrittää kalanterin käyntitunteja kohden käyttäen mittaustietoja mahdollisimman pitkältä ajalta, jotta paperilajien väliset erot tasoittuisivat. Energiankulutuksen määrittely käyntitunteja kohden helpottaa hahmottamaan kokonaisenergiankulutusta, jos kalanterin käyttöaste muuttuu tulevaisuudessa. Taulukosta 1 nähdään kuumaöljykattilan kuluttama maakaasun määrä normikuutiometreinä ( $\text{n-m}^3$ ) edellisiltä kolmelta vuodelta. Maakaasun kulutuksessa vuosittaiset erot syntyvät kalanterin vaihtelevasta käyntiajasta ja eri paperilaaduista johtuen.

Taulukko 1. Kuumaöljykattilan maakaasun kulutus vuosittain.

Kuumaöljykattilan maakaasun kulutus vuosittain		
Vuosi	Maakasun kulutus	
2017	166580	$\text{n-m}^3/\text{v}$
2018	199666	$\text{n-m}^3/\text{v}$
2019	170022	$\text{n-m}^3/\text{v}$

Maakaasun kulutuksen mittauksessa on kuitenkin ollut eroavaisuuksia kattilan hyötytehon mittaustulokseen. Varmistuaaksemme mittaustietojen paikkansapitävyydestä, tulee meidän selvittää polttoaineen sisältämä energia sekä hyötyenergia hyötytehomittauksen mukaan. Maakaasun kulutuslukemista voidaan ratkaista kuumaöljykattilan energiankulutus.

Kuumaöljykattilan energiankulutus voidaan määrittää yhtälöstä 2:

$$Q_{PA} = q_v * t * H \quad (2)$$

jossa	$Q_{PA}$	polttoaineen sisältämä energia	[MWh]
	$q_v$	tilavuusvirta	[n-m <sup>3</sup> /h]
	$t$	aika	[h]
	$H$	maakaasun lämpöarvo	[MWh/n-m <sup>3</sup> ].

Taulukosta 2 nähdään kuumaöljykattilan energiankulutus vuosittain megawattitunteina.

Taulukko 2. Kuumaöljykattilan energiankulutus vuosittain.

Kuumaöljykattilan energiankulutus vuosittain		
Vuosi	Energiankulutus	
2017	1724,1	MWh
2018	2066,6	MWh
2019	1759,7	MWh

Vertailukohdan saamiseksi on seuraavaksi selvitetty kuumaöljykattilan tuottama hyötyenergian määrä. Valmet DNA -järjestelmässä on olemassa kuumaöljykattilan hyötytehon lakennallinen arvo. Hyötytehon koosteesta näiltä vuosilta saadaan selville hyötytehon keskimääräinen arvo, jonka avulla voidaan määrittää hyötyenergian vuosittainen määrä.

Hyötyenergian määrä voidaan määrittää yhtälöstä 3:

$$Q_{Hyöty} = \Phi_{hyöty} * t \quad (3)$$

jossa	$Q_{hyöty}$	hyötyenergia	[MWh]
-------	-------------	--------------	-------

$\phi_{\text{hyöty}}$       hyötyteho      [MW]  
 $t$       aika      [h].

Hyötyenergian määrät perustuen Valmet DNA -järjestelmästä saataviin tietoihin ovat nähtävillä taulukosta 3.

Taulukko 3. Kuumaöljykattilan hyötyenergia vuosittain Valmet DNA -järjestelmästä.

Kuumaöljykattilan hyötyenergia vuosittain		
Vuosi	Hyötyenergia	
2017	5528,7	MWh
2018	6485,4	MWh
2019	5721,1	MWh

Hyötyenergian ja polttoaineen sisältämän energian määrää vertaillen voidaan todeta, että toisessa tiedossa on oltava virhettä, sillä hyötyenergian määrä on yli kolminkertainen kulutetun polttoaineen sisältämään energian määrään nähden.

Tästä syystä tehdyissä lisätutkimuksissa paljastui virhe hyötytehon laskennasta Valmet DNA -järjestelmässä. Laskentavirheen löydyttyä pystyin hyödyntämään mittaustietoja edellisvuosilta laskemalla todelliset arvot oikealla yhtälöllä. Kuumaöljykattilan todelliset vuosittaiset hyötyenergian määrät on esitetty taulukossa 4.

Taulukko 4. Todellinen kuumaöljykattilan hyötyenergia vuosittain.

Kuumaöljykattilan hyötyenergia vuosittain		
Vuosi	Hyötyenergia	
2017	1535,75	MWh
2018	1801,5	MWh
2019	1589,2	MWh

#### 4.1 Kuumaöljykattilan energiatehokkuus

Kuumaöljykattilan hyötysuhteella tarkoitetaan polttoainetehon ja hyötytehon suhdetta. Palamishyötysuhde on hetkellisesti mitattujen tehojen suhde, kun taas vuosihyötysuhde on vuositasolla tarkasteltavien energiamäärien suhde. Hyötysuhteen määrittelemistä varten tulee tietää polttoainetehon ja hyötytehon määrät.

Hyötyteho voidaan määrittää yhtälöstä 4:

$$\phi_{hyöty} = q_m * c_p * (T_{lähtevä} - T_{palaava}) \quad (4)$$

jossa	$\phi_{hyöty}$	hyötyteho	[kW]
	$q_m$	massavirta	[kg/s]
	$c_p$	ominaislämpökapasiteetti	[kJ/kg°C]
	$T_{lähtevä}$	lähtevän kuumaöljyn lämpötila	[°C]
	$T_{palaava}$	palaavan kuumaöljyn lämpötila	[°C].

Polttoainetehtä voidaan määrittää yhtälöstä 5:

$$\phi_{PA} = q_v * H \quad (5)$$

jossa	$\phi_{PA}$	polttoainetehtä	[kW]
	$q_v$	maakaasun tilavuusvirta	[n-m <sup>3</sup> /h]
	$H$	maakaasun lämpöarvo	[kWh/n-m <sup>3</sup> ].

K1:n Valmet DNA -järjestelmästä löytyvät mittaustiedot hyötytehoon sekä polttoaineen kulutukseen, jonka avulla polttoainetehtä voidaan määrittää yhtälöstä 5. Kyseiset tiedot ovat nähtävissä ajokaaviosta kuvassa 10. Maakaasun lämpöarvon ollessa 10,35 kWh/n-m<sup>3</sup>, voidaan laskea kuumaöljykattilan vuosihyötysuhde käyttäen mittaustietoja edelliseltä kolmelta vuodelta. Mittaustiedot vuosilta 2017, 2018 ja 2019 näkyvät taulukossa 5. Taulukossa 5 olevat tiedot ovat keskiarvoja vuoden ajalta.

Taulukko 5. Kuumaöljykattilan hyötytehtä ja polttoainetehtä vuosittain.

Kuumaöljykattilan hyötytehtä ja polttoainetehtä			
Vuosi	Hyötytehtä	Polttoainetehtä	
2017	175,1	196,8	kW
2018	205,7	235,9	kW
2019	181,4	200,9	kW

Hyötysuhde voidaan määrittää edellisiä mittaustietoja hyödyntäen yhtälöstä 6:

$$\eta = \frac{\phi_{hyöty}}{\phi_{PA}} \quad (6)$$

jossa	$\eta$	hyötysuhde	[-]
	$\phi_{\text{hyöty}}$	hyötyteho	[kW]
	$\phi_{\text{PA}}$	polttoaineteho	[kW].

Kuumaöljykattilan vuosihyötysuhteet ovat taulukossa 6.

Taulukko 6. Kuumaöljykattilan vuosihyötysuhteet.

Kuumaöljykattilan hyötysuhde		
Vuosi	Vuosihyötysuhde	
2017	89,0	%
2018	87,2	%
2019	90,3	%

## 5 KEHITYSKOHEET KALANTERIN KUUMAÖLJYJÄRJESTELMÄSSÄ

Kalanterin kuumaöljyjärjestelmään ehdotettavat kehityskohteet jaetaan tässä työssä kahteen eri osaan: ohjausjärjestelmän kehityskohteisiin ja energia- ja kustannustehokkuuden parantamiseen. Ohjausjärjestelmän kehityskohteet painottuvat tässä työssä ensiöpiirin paikallisen releohjausjärjestelmän kehittämiseen. Energia- ja kustannustehokkuuden parantamisessa keskitytään tämänhetkisen järjestelmän kehittämiseen ja ehdotetaan mahdollista höyrylämmitteistä järjestelmää kuumaöljykattilan tilalle.

### 5.1 Ohjausjärjestelmän kehityskohteet

Ohjausjärjestelmän kehittämisen perusteena voidaan pitää nykyisen järjestelmän ongelmia, joita ovat heikko toimintavarmuus, laajennus- ja muutostöiden hankala toteuttaminen, vanhentunut teknologia ja kunnossapitohenkilökunnan heikentyvä osaaminen.

Ensiöpiirin ohjausjärjestelmän kehitykseen on kaksi huomioonotettavaa vaihtoehtoa: Nykyisen ohjausjärjestelmän korvaaminen logiikkaohjauksella tai ensiöpiirin ohjauksen liittäminen K1:n Valmet DNA -järjestelmään. Nykyisen releohjausjärjestelmän korvaaminen logiikkaohjauksella toisi mukanaan useita etuja, joita ovat mm. toimintavarmuuden parantuminen, laajennus- ja muutostöiden toteuttaminen helpottuu sekä teknologian päivittäminen tähän päivään.

Ensiöpiirin ohjausjärjestelmän liittäminen K1:n Valmet DNA -järjestelmään olisi mahdollista ja siinä saavutettaisiin huomattavasti enemmän etuja logiikkaohjaukseen nähden. Logiikkaohjauksen tuomien etujen lisäksi DNA -järjestelmään liittäminen mahdollistaisi kaikkien ohjaustoimenpiteiden tekemisen valvomosta käsin, helpottaisi vikatilanteiden selvittämistä sekä helpottaisi ja yksinkertaistaisi kunnossapitotöiden tekemistä, sillä kaikki ohjausjärjestelmän asiat olisivat samassa paikassa. Ensiöpiirin liittäminen nykyiseen K1:n Valmet DNA -järjestelmään on mahdollista, jos nykyisessä DNA -järjestelmässä on riittävästi laajennustilaa ensiöpiirin ohjauspiirejä varten.

## **5.2 Energia- ja kustannustehokkuuden parantaminen**

Termotelojen lämmitysjärjestelmän energia- ja kustannustehokkuuden parantamiseen esitetään tässä työssä kahta pääasiallista vaihtoehtoa, jotka ovat nykyisen maakaasulämmitteisen järjestelmän kehittäminen ja nykyisen järjestelmän korvaaminen höyrylämmitteisellä järjestelmällä.

### **5.2.1 Kehitysehdotukset nykyiseen järjestelmään**

Maakaasupolttimen toimintaa on seurattu Valmet DNA -järjestelmästä ja siitä seurauksena on tehty seuraavia huomioita:

- 1) Polttimen käyntiajat ovat lyhyitä, muutaman minuutin pituisia.
- 2) Käynnistyksiä ja pysähdyksiä tulee usein.
- 3) Tehonsäätöä ei käynnin aikana tapahdu. Poltin käynnistyy ja teho nousee tiettyyn arvoon, jonka jälkeen teho pysyy samana polttimen sammumiseen asti. Polttimen teho käynninaikana on noin 2 MW.

Tällainen toiminta ei ole ideaalista moduloivalle polttimelle, jonka tarkoituksena on säätää tehoa liukuvasti tehontarpeen mukaan, jotta käyntiajat olisivat pitkiä ja käynnistyksien ja pysähdyksien määrä olisi mahdollisimman vähäinen.

Polttimen käyttäytyminen tällä tavalla voi johtua seuraavista syistä:

- 1) Poltin on ylimitoitettu järjestelmään, eikä ole kykeneväinen käymään riittävän pienellä teholla pysyäkseen käynnissä.

- 2) Polttimeen tehonsäädön toiminta-alueeksi ei ole asetettu koko käytettävissä olevaa aluetta.
- 3) Tehonsäädin on viritetty toimimaan liian hitaasti, eikä se ehdi reagoida tehontarpeen muutoksiin riittävän nopeasti.

Termotelojen lämmitysjärjestelmän keskimääräinen tehontarve normaalissa käyntitilanteessa on 374 kW. Tämä tieto on saatu kattilan hyötytehon keskiarvosta edelliseltä kolmelta vuodelta ja kalanterin oletetusta käyntiasteesta. Tämänhetkisen kuumaöljykattilan nimellistehon ollessa 4,5 MW ja toiminta-alueen ollessa 800–5500 kW, voidaan todeta järjestelmän olevan reilusti ylimitoitettu. Järjestelmän ylimitoitus voi aiheuttaa maakaasupolttimeen katkonaisen toiminnan, sillä keskimääräinen tehontarve järjestelmällä on yli puolet pienempi kuin minimiteho, jonka poltin pystyy tuottamaan.

Polttimeen ylimitoitus ei kuitenkaan selitä kaikkea polttimeen tämänhetkisestä toiminnasta, sillä polttimeen teho ei säädy käyntitilanteessa lähellekään toiminta-alueen alarajaa, vaan poltin käy noin 2 MW:n teholla käynnistymisestä pysähtymiseen asti. Tämä voi aiheutua polttimelle asetetusta toiminta-alueesta tai säätimen hitaasta toiminnasta. Polttimeen toiminta-aluetta on voitu rajoittaa, jolloin poltin ei pysty säätämään tehoa teoreettiselle minimirajalle asti, vaan käynti tapahtuu toiminta-alueen rajoitusten sisällä. Tässä tapauksessa toiminta-alueen alarajaksi olisi tullut asettaa 2 MW:n teho, sillä polttimeen teho ei käyntitilanteessa laske tämän alle. Tehonsäätimen hidas toiminta voi myös aiheuttaa vastaavanlaisen tilanteen. Säätimen reagoidessa palaavan ja lähtevän kuumaöljyn lämpötilaeroon liian hitaasti ei polttimeen teho ehdi säätää ja tämän seurauksena poltin sammuu.

Polttimeen toimintaa paremmin ymmärtääkseen tulisi kuumaöljykattilalle suorittaa savukaasuanalyysi. Savukaasuanalyysistä saadaan tietoa savukaasujen lämpötilasta, jäännöshapesta ja muista savukaasujen sisältämistä kaasuista. Näiden tietojen avulla voidaan poltinta säätää sekä selvittää sen hetkellinen palamishyötysuhde.



Kuumaöljyjärjestelmän oikealla mitoittamisella ja polttimeen säädöllä saadaan järjestelmän hyötysuhdetta parannettua. Hyötysuhteen parantamiseksi tehtävät yksinkertaiset säätötoimenpiteet ovat yleensä kannattavia, sillä niillä saadaan helposti säästöä polttoaineenkulutuksessa. Tämän tapauksen säästöpotentiaali vuodessa, jonka perustana taulukossa 4 esitettyjen hyötyenergiämäärien keskiarvo on laskettuna taulukossa 7.

Taulukko 7. Kuumaöljykattilan hyötysuhteen parantamisesta tulevat säästöt vuosittain.

<b>Kuumaöljykattilan polttoaineenkulutus</b>			
Hyötysuhde	Hyötyenergia vuodessa	Polttoaineen kulutus	Säästö euroina
90	1641,5	1823,89	Nykytila
91	1641,5	1803,85	xxx
92	1641,5	1784,24	xxx
93	1641,5	1765,05	xxx
94	1641,5	1746,28	xxx
95	1641,5	1727,89	xxx
%	MWh/v	MWh/v	€/v

Energiankulutuksen ja -tehokkuuden kartoittamista jatkossa pystytään parantamaan huomattavasti, jos laitteiston käyntitiedot tallennetaan johonkin järjestelmään. Käyntitietojen avulla pystytään määrittämään energiankulutusta käyntiaikaa kohden, joka tällaisessa prosessissa vaihtelee vuosittain.

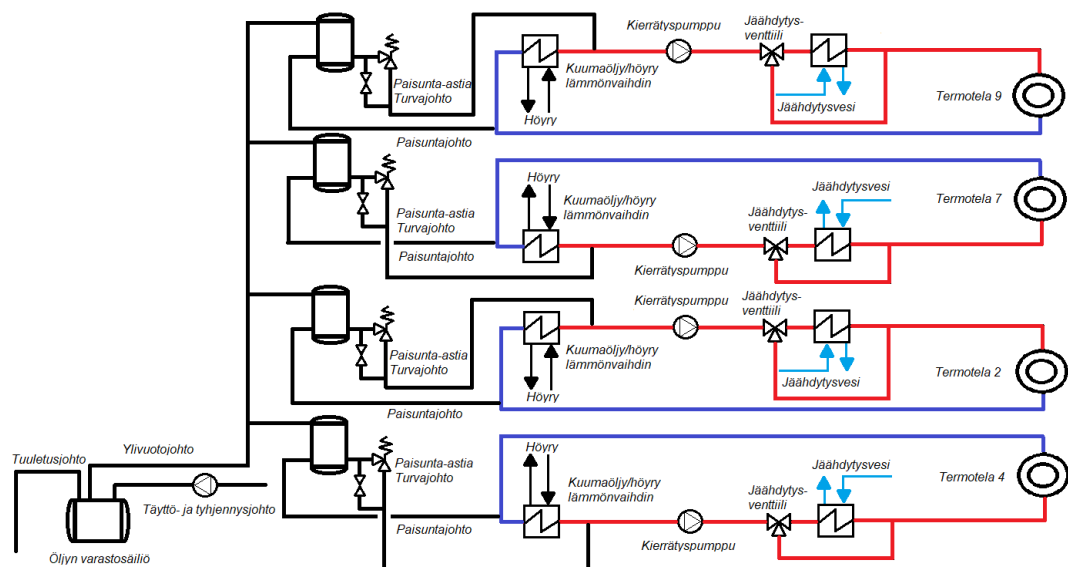
### 5.2.2 Vaihtoehtoinen höyrylämmiteinen järjestelmä

Termotelojen lämmittäminen höyryllä maakaasun sijaan toisi mukanaan paljon etuja UPM Kymin paperitehtaalle. Höyryä on paperitehtaalla hyvin saatavilla soodakattilalta ja kuorikattilalta ja sitä höyryä käytetään useissa paperitehtaan prosesseissa jo entuudestaan.

Kuumaöljykattila itsessään tuo huomattavia rasitteita paperitehtaalle, jolle termotelojen lämmitysjärjestelmä on vain pieni sivuprosessi paperin valmistuksessa. Rasitteet johtuvat kuumaöljykattilan luokittelusta rekisteröitäväksi painelaitteeksi. Rekisteröidyllä painelaitteella on lain mukaan oltava käytönvalvoja, varakäytönvalvoja sekä sille on tehtävä lain velvoittamat määräaikaistarkastukset. Kuumaöljykattilan käytönvalvoja ja varakäytönvalvoja on nimetty toistaiseksi Kymin sellutehtaan puolelta kustannussyistä.

Nykyinen maakaasulämmitteinen kuumaöljyjärjestelmä olisi mahdollista korvata höyryn ja kuumaöljyn lämmönvaihtimilla. Nykyiset toisiopiirit voisivat jäädä lähes ennalleen, sillä termotelat vaativat lämmönsiirtonesteeksi joko vettä tai kuumaöljyä. Veden käyttö lämmönsiirtonesteinä tuo omat haasteensa vesikemian kanssa, eikä sillä pystytä saavuttamaan riittävän korkeita lämpötiloja tähän käyttöön ilman paineen nostamista huomattavasti. Näin ollen termotelojen lämmönsiirtonesteinä olisi kuumaöljy myös höyrylämmitteisessä järjestelmässä.

Kuumaöljyjärjestelmän tämänhetkinen ensiöpiiri korvattaisiin neljällä höyryn ja kuumaöljyn lämmönvaihtimella. Jokaiselle toisiopiirille tulisi oma lämmönvaihdin, jonka höyryvirtauksen määrällä pystyttäisiin säätämään yksittäisen telan lämpötilaa, aivan kuten nykytilanteessakin. Jäähdytysjärjestelmä ei vaatisi muutoksia. Kuvassa 12 on esitetty yksinkertaistettu kaaviokuva mahdollisesta höyrylämmitteisestä järjestelmästä.



Kuva 12. Yksinkertaistettu kaaviokuva höyrylämmitteisestä järjestelmästä.

Prosessihöyryä tulee paperitehtaalte viereiseltä voimalaitokselta useissa eri painetasoissa. Höyryn eri painetasojen ominaisuuksia voidaan vertailla ja siten selvittää, onko valmiiksi olemassa olevista höyrytuloista yksikään soveltuvainen tämän järjestelmän tarpeisiin. Tällä hetkellä voimalaitokselta tulee höyryä paperitehtaalte kolmessa eri painetasossa, jotka näkyvät taulukossa 8.

Taulukko 8. Paperitehtaan prosessihöyrytasot.

Paperitehtaan prosessihöyrytasot	
Painetaso [bar]	Kylläisen höyryn lämpötila [°C]
3,5	139
5	151
14	195

Termotelojen pintalämpötilojen vaihteluväli on ajotilanteessa 60-140 °C, joka tarkoittaa sitä, että höyryn tulisi pystyä lämmittämään termotelat 140 °C:n lämpötilaan. Näistä prosessihöyrytasosta soveltuvaksi voidaan todeta vain 14 bar:in painetaso, sillä se on ainut painetaso, jolla vaadittava termotelojen pintalämpötila on mahdollista saavuttaa.

Energiakustannukset höyrylämmitteisessä järjestelmässä nousevat noin 87% maakaasulämmitteiseen järjestelmään nähden toimeksiantajan ilmoittamien energiahintojen mukaan. Taulukossa 9 on nähtävissä energiakustannukset höyrylle ja maakaasulle hyötyenergiatarpeen mukaan laskettuna.

Taulukko 9. Termotelojen lämmitysjärjestelmän energiakustannukset.

Termotelojen lämmitysjärjestelmän energiakustannukset			
Energia-lähde	Hyötyenergia vuodessa [MWh/v]	Kustannus megawattituntia kohden [€/MWh]	Kustannus vuodessa [€/v]
Höyry	1641,5	xxx	xxx
Maakaasu	1641,5	xxx	xxx

## 6 YHTEENVETO

Tämänhetkinen UPM Kymin PK8-linjan off-machine-kalanterin termotelojen lämmitysjärjestelmä on toimiva ratkaisu. Työssä onnistuttiin kokoamaan tiedot tämänhetkisen järjestelmän toiminnasta yhteen dokumenttiin sekä paikannettiin useita kehityskohteita järjestelmän toimivuuden, elinkaaren ja energia- ja kustannustehokkuuden parantamiseksi. Myös prosessihöyryn käyttö lämmönlähteenä termotelojen lämmityksessä todettiin mahdolliseksi, mutta energiakustannuksiltaan kalliimmaksi vaihtoehdoksi.

Termotelojen lämpötehontarpeen todettiin olevan huomattavasti kuumaöljyjärjestelmän minimitehoa alhaisempi, josta voidaan todeta kuumaöljykattilan ja maakaasupolttimen olevan reilusti ylimitoitettuja. Lisäksi maakaasupolttimen toiminnassa huomattiin epätyypillistä käytöstä moduloivalle polttimelle. Ensiöpiirin ohjausjärjestelmä on vanhaa tekniikkaa, jonka toimintavarmuus on huonoa ja joka alkaa olla elinkaarensa lopussa. Ensiöpiirin tämänhetkinen ohjausjärjestelmä voidaan tulevaisuudessa korvata logiikkaohjauksella tai siirtää ensiöpiirin ohjaus K1:n Valmet DNA -järjestelmään, joka on nykytilassaan hyvin toimiva ohjausjärjestelmä.

Tässä opinnäytetyössä kerätyt tiedot ja saavutetut tulokset auttavat UPM Communication Papers Oyj:tä tekemään päätöksiä K1:n termotelojen lämmitysjärjestelmän tulevaisuudesta. Opinnäytetyön aihe oli hyvin kiinnostava ja laaja, jossa pääsi hyvin hyödyntämään opinnoista saatua tietoa ja yhdistämään teoriaa olemassa olevien järjestelmien tarkasteluun. Työtä tehdessä pääsi opettelemaan SAP-kunnossapitojärjestelmän sekä Valmet DNA -ohjausjärjestelmän käyttöä ja tiedon etsimistä.

## LÄHTEET

ABB. s.a. Elinkaaren hallinta. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://new.abb.com/control-systems/fi/palvelut/elinkaaren-hallinta> [viitattu 13.5.2020]

Asetus kattilalaitosten käytön valvojien pätevyyskirjoista 891/1999.

Aura GmbH. 2001. Teholuettelo. Tekninen dokumentti. Ei saatavissa.

Aura GmbH. 2013. Thermal Oil Heating System, Fired Heater. WWW-dokumentti. Saatavissa: <http://www.aurachina.com/en/judge.php?id=23> [viitattu 13.5.2020].

Fonselius, J., Pekkola, K., Selosmaa, S., Ström, M. & Välimaa, T. 1996. Koneautomaatio: Automaatiolaitteet. 1.–2. painos. Helsinki: Edita.

KnowPap. s.a. Jälkikäsittely, kalanterointi. WWW-dokumentti. Saatavissa: [http://www.knowpap.com/www/suomi/knowpap\\_system/user\\_interfaces/pap\\_machines/calenders.htm](http://www.knowpap.com/www/suomi/knowpap_system/user_interfaces/pap_machines/calenders.htm) [viitattu 13.5.2020].

Kuumaöljykäyttäjäyhdistys. 2016. Mitä kuumaöljy on?. WWW-dokumentti. Saatavissa: <http://hotoil.fi/kuumaoljy/mita-kuumaoljy-on/> [viitattu 13.5.2020].

Painelaitelaki 16.12.2016/1144.

UPM Kymi. s.a. UPM Kymi. WWW-dokumentti. Saatavissa: [https://www.upmpulp.com/fi/upm-kymi/#cid\\_185344](https://www.upmpulp.com/fi/upm-kymi/#cid_185344) [viitattu 13.5.2020].

Valmet. 2002. Kalanterikirja off-line OptiLoad kalanterille. Tekninen dokumentti. Ei saatavissa.

Valmet. s.a. Valmet DNA Life Cycle Approach. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.valmet.com/automation/control-systems/valmet-dna/engineering-maintenance-tools/valmet-dna-life-cycle-approach/> [viitattu 22.5.2020].

Valmet. s.a. OptiCalender Multinip calendaring. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.valmet.com/board-and-paper/board-and-paper-machines/calendering/multinip-calendering/> [viitattu 13.5.2020].

Weishaupt. s.a. Installation and operating instructions for Weishaupt gasburners size 30 to 70. Tekninen dokumentti. Ei saatavissa.

Ensiöpiiri					
Aura-Pos.no.	DNA-Pos.no.	Piirin nimi	Kalibr. alue	Laitetyyppi	Valmistaja
1.111	85TAS1-4040				
1.112	85TAS2-4040				
1.113	85TAS3-4040				
1.12	85FS1-4040				
1.13	85TE1-4040				
1.14	85TE2-4040				
1.15	85TAS4-4040				
1.42	85A1-4040				
1.62	85LS1-4040				
1.661	85LS2-4040				
1.64	85TCV1-4040				
1.641	85GSV1-4040				
1.642	85GS1-4040				

Venttiiliryhmät teloille					
Aura-Pos.no.	DNA-Pos.no.	Piirin nimi	Kalibr. alue	Laitetyyppi	Valmistaja
6.70	85FS32-4042				
7.70	85FS2-4044				
14.70	85FS2-4047				
15.70	85FS2-4049				

Moottorit					
Aura-Pos.no.	DNA-Pos.no.	Piirin nimi	Kalibr. alue	Laitetyyppi	Valmistaja
1.30	5 485 746 403				
1.50	----				
1.81	5 485 746 402				
3.30	5 485 746 404				
4.30	5 485 746 405				
11.30	5 485 746 406				
12.30	5 485 746 407				

Toisiopiiri 1					
Aura-Pos.no.	DNA-Pos.no.	Piirin nimi	Kalibr. alue	Laitetyyppi	Valmistaja
3.11	85TCV1-4042				
3.16	85TE1-4042				
3.161	85TT1-4042				
3.17	85TE2-4042				
3.171	85TT2-4042				
3.52	85TCV2-4042				
3.61	85GSV1-4042				
3.67	85FS1-4042				

Toisiopiiri 2					
Aura-Pos.no.	DNA-Pos.no.	Piirin nimi	Kalibr. alue	Laitetyyppi	Valmistaja
4.11	85TCV1-4044				
4.16	85TE1-4044				
4.161	85TT1-4044				
4.17	85TE2-4044				
4.171	85TT2-4044				
4.52	85TCV2-4044				
4.61	85GSV1-4044				
4.67	85FS1-4044				

Toisiopiiri 3					
Aura-Pos.no.	DNA-Pos.no.	Piirin nimi	Kalibr. alue	Laitetyyppi	Valmistaja
11.11	85TCV1-4047				
11.16	85TE1-4047				
11.161	85TT1-4047				
11.17	85TE2-4047				
11.171	85TT2-4047				
11.52	85TCV2-4047				
11.61	85GSV1-4047				
11.67	85FS1-4047				

Toisiopiiri 4					
Aura-Pos.no.	DNA-Pos.no.	Piirin nimi	Kalibr. alue	Laitetyyppi	Valmistaja
12.11	85TCV1-4049				
12.16	85TE1-4049				
12.161	85TT1-4049				
12.17	85TE2-4049				
12.171	85TT2-4049				
12.52	85TCV2-4049				
12.61	85GSV1-4049				
12.67	85FS1-4049				